

Nederlandse organisatie  
voor toegepast  
natuurwetenschappelijk  
onderzoek



Fysisch en Elektronisch  
Laboratorium TNO

Postbus 96864  
2509 JG 's-Gravenhage  
Oude Waalsdorperweg 63  
's-Gravenhage  
Telefax 070 - 328 09 61  
Telefoon 070 - 326 42 21

TD  
91-4356

TNO-rapport

rapport nr.  
FEL-91-B429

exemplaar nr.  
8

**AD-A245 412**



Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten TNO', dan wel de betreffende  
terzake tussen partijen gesloten  
overeenkomst.

© TNO

titel

Deterministische gevechtsmodellen, Interim  
rapport 1: Literatuur Onderzoek

**TDCK RAPPORTENCENTRALE**  
Frederikkazerne, Geb. 140  
van den Burchlaan 31  
Telefoon: 070-3166394/6395  
Telefax : (31) 070-3166202  
Postbus 90701  
2509 LS Den-Haag

auteur(s):

Drs. W. Joppe

Dr. M.H.A. Klaver

datum:

december 1991

**DTIC**  
**ELECTE**  
**FEB 04 1992**  
**S D D**

rubricering

titel

: ongerubriceerd

samenvatting

: ongerubriceerd

rapporttekst

: ongerubriceerd

This document has been approved  
for public release and sale; its  
distribution is unlimited.

oplage

: 31

aantal bladzijden

: 46 (excl. RDP + distributielijst)

aantal bijlagen

: -

92 2 03 161

**92-02817**



rapport no. : FEL-91-B429  
titel : Deterministische gevechtsmodellen, Interim rapport 1 :  
Literatuur Onderzoek.  
auteur(s) : Drs. W. Joppe  
Dr. M.H.A. Klaver  
instituten : TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
datum : December 1991  
hdo-opdr. no. : -  
no. in ipw '91 : 701.1 (FEL)

Onderzoek uitgevoerd o.l.v. P.A.B. van Schagen  
Onderzoek uitgevoerd door W. Joppe  
M.H.A. Klaver

### Samenvatting (Ongerubriceerd)

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven van een literatuuronderzoek op het gebied van deterministische gevechtssimulatiemodellen. Er wordt aandacht besteed aan de Lanchestervergelijkingen, zowel in klassieke vorm als in een meer algemene variant. Tevens wordt een korte beschrijving gegeven van een aantal deterministische gevechtssimulatiemodellen.



Accession For	
NTIS CRA&I	<input checked="" type="checkbox"/>
DTIC TAB	<input type="checkbox"/>
Unannounced	<input type="checkbox"/>
Justification	
By	
Distribution /	
Availability Codes	
Dist	Avail and/or Special
A-1	

report no. : FEL-91-B429  
title : Deterministic combatmodels, Interim report 1 :  
Literature Research  
author(s) : W. Joppe  
M.H.A. Klaver  
institutes : TNO Physics and Electronics Laboratory  
date : December 1991  
NDRO no. : -  
no. in pow '91 : 701.1 (FEL)

Research supervised by: P.A.B. van Schagen  
Research carried out by: W. Joppe  
M.H.A. Klaver

---

### Abstract (Unclassified)

This report contains a description of a study of the existing literature on deterministic combatmodels. The Lanchesterequations are described, both in their classical as in a more general form. Finally some deterministic combat models are described.

## Contents

<b>Samenvatting</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2 Indeling gevechtsmodellen</b>	<b>7</b>
2.1 Inleiding . . . . .	7
2.2 Classificatie gevechtsmodellen . . . . .	9
2.3 Methodologische indeling van gevechtsmodellering . . . . .	10
2.4 Deterministische modellen . . . . .	12
<b>3 Lanchestervergelijkingen</b>	<b>14</b>
3.1 Inleiding . . . . .	14
3.2 Klassieke Lanchestervergelijkingen . . . . .	14
3.3 Algemene Lanchestervergelijkingen . . . . .	19
<b>4 Attritie methodologie</b>	<b>21</b>
4.1 Inleiding . . . . .	21
4.2 Weapon Effectiveness Indices/ Weighted Unit Value . . . . .	22
4.3 De Bonder-methode . . . . .	22
<b>5 Globale modelbeschrijvingen</b>	<b>24</b>
5.1 Inleiding . . . . .	24

5.2	Balincer . . . . .	24
5.3	Balls . . . . .	28
5.4	Kosimo . . . . .	32
5.5	TAM . . . . .	34
5.6	Triamos . . . . .	37
6	Conclusie	40
	Bibliography	41

## 1 Inleiding

Dit rapport is geschreven in het kader van het project analytische modellen. Het project vindt plaats in het kader van achtergrondonderzoek binnen de groep Beleids- en Wapensysteemstudies Land van de divisie Operationele Research. Het project heeft tot doel om een gevechtsmodel te ontwikkelen dat in staat is om snel een eerste-orde beeld te geven van het verloop van een gevecht tussen aan eigen zijde een team, en aan vijandelijke zijde een bataljon.

De eerste fase van het project bestond uit het uitvoeren van een literatuurstudie op het gebied van deterministische gevechtsmodellen, meer speciaal gericht op Lanchestervergelijkingen. Een overzicht van het onderzoek is in dit rapport te vinden.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt een indeling gegeven van gevechtsmodellen in het algemeen. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op een veel gebruikte methode voor gevechtsmodellering, de Lanchestervergelijkingen. Aangezien hierbij de grootste moeilijkheid ligt bij het bepalen van de parameters die deze vergelijkingen bevatten (de attritiecoëfficiënten), wordt in hoofdstuk 4 ingegaan op verschillende methoden ter bepaling van deze parameters. In hoofdstuk 5 worden een aantal gevechtsmodellen beknopt beschreven. Hoofdstuk 6 tenslotte bevat de conclusies. Hierna volgt de literatuurlijst.

## 2 Indeling gevechtsmodellen

### 2.1 Inleiding

Zolang er strijd geleverd wordt, worden er pogingen gedaan om het verloop van de strijd te kunnen voorspellen en analyseren. Door de geschiedenis heen zijn de mogelijkheden en methoden aan grote veranderingen onderhevig geweest. De methoden evolueerden via het naspelen van de strijd in zandbakken door o.a. Napoleon, tot de wiskundige gevechtsmodellen en de grote computermodellen van deze eeuw. Als men zich beperkt tot de wiskundige gevechtsmodellen en simulatieprogramma's dan is de volgende ontwikkeling te schetsen. Begin deze eeuw werd door F.W. Lanchester de eerste poging gedaan om een gevecht mathematisch te beschrijven. De door hem opgestelde vergelijkingen hebben binnen de gevechtsmodellering lange tijd een belangrijke rol gespeeld. Met de komst van de computers ontstonden grote geautomatiseerde gevechtsmodellen, welke soms nog wel op de Lanchestervergelijkingen waren gebaseerd. Met de komst van steeds krachtigere computers werden de gevechtssimulatiemodellen steeds gedetailleerder en werkten over het algemeen op basis van zogenaamde Monte-Carlo simulatie.

Binnen gevechtsmodellen is de volgende grove indeling te maken:

- Wargames

Een wargame dient voor het doorspelen van realistische scenario's door spelers die deel uitmaken van een militaire staf. Een wargame kan gebruikt worden voor diverse doeleinden:

- De commandant en zijn staf te trainen in het maken van operationele beslissingen zonder dat daar een veldoefening voor moet worden gehouden.
- Gebruik in het onderwijs.
- Het uitproberen van bepaalde concepten.

Het grote verschil tussen wargames en de andere modellen is dat bij wargames de beslissingen in de game genomen worden door personen tijdens het draaien van de game, en in beide andere types modellen worden de beslissingen op grond van invoer parameters of in het model aanwezige submodellen genomen.

- Gevechtssimulatiemodellen

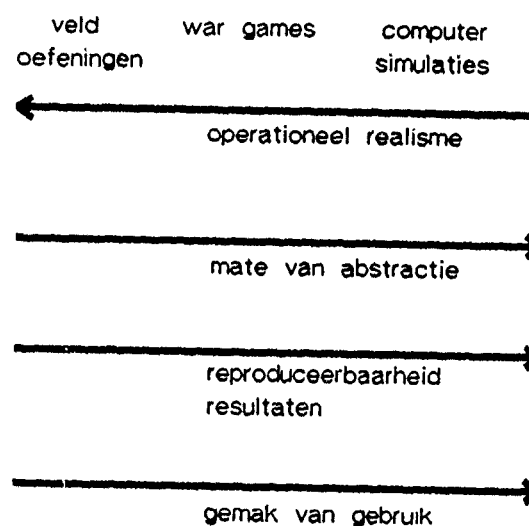
Gevechtssimulatiemodellen worden gebruikt in een research omgeving om het gevechtsverloop te bestuderen. Een gevechtssimulatiemodel begint met een volledige set invoerparameters en rekt vervolgens het gevecht door totdat aan een stopcriterium is voldaan. Hierna zijn de resultaten van het gevecht als uitvoer beschikbaar.

- Analytische modellen

In een analytisch model worden alle, en dus in het bijzonder het attritie proces gemodelleerd door wiskundige symbolen en vergelijkingen. Binnen de analytische modellen kan een onderscheid worden gemaakt tussen stochastische en deterministische modellen.

Binnen de groep Beleids- en Wapensysteemstudies Land van de divisie Operationele Research heeft men de volgende modellen ontwikkeld. In 1983 werd het model Soltau [45] ontwikkeld. Dit model was ontworpen voor opleidingssdoeleinden. Het werkte op basis van de Lanchestervergelijkingen, maar maakte wel gebruik van een random generator. In 1985 werd, voor trainings- en opleidingsdoeleinden, de veel gedetailleerdere wargame Kibowi [14] ontwikkeld. Het Force Structure Model (FSM) [39, 38], dat in 1986 is ontwikkeld, is een zeer gedetailleerd gevechtssimulatiemodel, gebruikt voor researchdoeleinden. Het project analytische modellen heeft tot doel aan deze al aanwezige tools een nieuw analytisch model toe te voegen.

In figuur 2.1 worden de verschillende soorten modellen op een rij gezet.



Figuur 2.1 : Overzicht modellen.

Uit figuur 2.1 blijkt dat het nieuw te ontwikkelen model als analytisch model een hogere mate van abstractie kent dan de al binnen RG1.1 aanwezige modellen. Door deze hogere mate van abstractie wordt wel snelheid en eenvoud van modellering verkregen.



In dit hoofdstuk wordt beknopte informatie over gevechtsmodellen in het algemeen gegeven. Dit om de positie van het nieuw te ontwikkelen model binnen de totale verzameling van gevechtsmodellen te kunnen aangeven. In paragraaf 2.2 volgt een kort overzicht van een mogelijke classificatie van de modellen. In paragraaf 2.3 wordt dieper ingegaan op een van de punten aan de hand waarvan gevechtsmodellen kunnen worden geclassificeerd: methodologie van de gevechtsmodellering. Paragraaf 2.4 behandelt de deterministische modellen, een specifieke vorm van gevechtsmodellering.

## 2.2 Classificatie gevechtsmodellen

Vanwege het grote aantal gevechtsmodellen en de grote verscheidenheid in methodologie wordt er gepoogd een classificatie te maken van de verschillende modellen. Een indeling van de modellen is te vinden in [2]. Er zijn verschillende methoden om gevechtsmodellen in te delen.

- op grond van doel
  - training en onderwijs
  - research
- op grond van de in het model gerepresenteerde eigenschappen
  - operatie domein (land, lucht, maritiem)
  - niveau model (theater, corps, divisie etc.)
  - mate van detail waarin het terrein is meegenomen
  - samenstelling gevechtseenheden
  - categorie van het conflict (conventioneel, chemisch, nucleair)
  - mission area
  - mate van detail waarin de entiteiten en processen zijn gemodelleerd
- op grond van constructie van het model
  - de mate waarin menselijk ingrijpen tijdens het draaien van het model noodzakelijk is
  - manier waarop de tijdsafhankelijkheid van de interactie parameters wordt gemodelleerd.
    - \* statisch (constant gedurende de simulatie)
    - \* dynamisch (variabel gedurende de simulatie)
  - de manier waarop random processen worden gemodelleerd.
    - \* deterministisch

- \* stochastisch
- aantal partijen dat wordt gemodelleerd.
- \* één partij
- \* twee partijen
- \* drie of meer partijen

Voor het nieuw te ontwikkelen model liggen een aantal keuzen vast. Het nieuw te ontwikkelen model is bedoeld voor researchdoeleinden. Op het gebied van de in het model gerepresenteerde eigenschappen liggen ook al een aantal zaken vast. Het model moet in eerste instantie een gevecht representeren tussen landstrijdkrachten met aan blauwe zijde een compagnie en aan rode zijde een bataljon. In verband met de snelheid waarmee voor het model de invoer te genereren moet zijn, zal voor de invloed van het terrein een analytische beschrijving dienen te worden gevonden. Op het gebied van de constructie van het model ligt vast dat menselijk ingrijpen voor het model tijdens het draaien van een simulatie niet nodig moet zijn, i.e. het moet een gesloten model zijn. Het dynamische karakter van het gevechtsverloop moet gemodelleerd zijn. Het tijdsverloop van het gevecht moet met het model te volgen zijn. De keuzemogelijkheden voor het nieuwe model liggen op het gebied van de modellering van de random processen en de te gebruiken attritiemodellering. In de volgende paragraaf wordt verder ingegaan op de methodologische aspecten van gevechtsmodellering.

### 2.3 Methodologische indeling van gevechtsmodellering

Zoals in de vorige paragraaf is vermeld, is een indeling van gevechtsmodellen te maken op grond van de behandeling van random processen. Hierbinnen is een nadere indeling mogelijk:

- stochastisch
  - Monte Carlo simulatie
  - direct computation
- deterministisch

Het is duidelijk dat een gevecht een stochastisch proces is. Een gevechtuitskomst zal niet alleen van alle omstandigheden afhangen, maar tevens zal een "toevals/geluks" factor een rol spelen. Stochastische variabelen die een rol spelen binnen gevechten zijn bijvoorbeeld de kans op een treffer gegeven een schot, de uitschakelkans gegeven een treffer en de detectiekans gegeven line-of-sight. Doordat bij het verloop van het gevecht stochastische processen een rol spelen, ligt stochastische gevechtsmodellering meer voor de hand

dan deterministische gevechtsmodellering. Hieruit is het feit ook te verklaren dat met de komst van de vereiste computerfaciliteiten de ontwikkeling van gevechtsmodellen van deterministische modellen is overgeschakeld op stochastische modellen. Binnen de stochastische modellen zijn twee grote categorieën te onderkennen.

Als eerste de Monte Carlo modellen. Hierbij worden stochastische processen gesimuleerd door uit een verzameling random getallen een getal te trekken dat de waarde van de random variabele representeert. Door nu een voldoende groot aantal runs te draaien wordt het gedrag en de invloed van de random variabele onderzocht. De betrouwbaarheid van de uitkomst van Monte Carlo modellen is voor grote hoeveelheden simulaties groot. Binnen RG1.1 werkt het model FSM op basis van Monte Carlo simulatie. Als nadeel hieraan kleefte dat het uitvoeren van een studie met een dergelijk model redelijk veel tijd kost. Dit komt doordat er een groot aantal runs moet worden gedraaid om tot een betrouwbare uitkomst te komen. De modellen zijn bovendien in het algemeen erg gedetailleerd, hetgeen er voor zorgt dat het vervaardigen van de invoer voor het model ook veel tijd kost.

De volgende hoofdcategorie binnen stochastische modellen zijn de modellen die werken op basis van direct computation. Bij deze methode wordt van alle stochastische variabelen expliciet de verwachtingswaarde bepaald. Er worden formules afgeleid voor de verwachtingswaarden, als functie van de tijd, van de aantallen wapensystemen van beide partijen. Binnen de stochastische modellen is deze methode theoretisch gezien het meest betrouwbaar. Echter voor de gecompliceerde situaties die bij gevechtsmodellen optreden, is deze methode niet meer toepasbaar. Literatuur die deze methode beschrijft, beperkt zich tot "simpele" gevallen; er worden stochastische duels beschreven met aan beide zijden maximaal twee schutters. Voor een overzicht van de methode wordt met name verwezen naar het werk van Ancker en Gafarian [6, 7, 8, 23, 24, 48]. In [6] is een overzicht van resultaten en een uitgebreide literatuurlijst opgenomen.

Van stochastische modellen wordt de sprong naar deterministische modellen gemaakt. Zoals de naam al aangeeft, geeft een simulatie gedraaid met een deterministisch model gegeven de omstandigheden een éénduidige uitkomst. Een deterministisch model vervangt de stochastische variabelen door deterministische variabelen, zoals de verwachting van de stochastische variabelen of schattingen van de verwachting. Idealiter worden de stochastische variabelen vervangen door de verwachting. Deze zal echter, zoals ook al bij de stochastische modellen is opgemerkt, in het algemeen moeilijk te bepalen zijn. In het algemeen zal dus gewerkt worden met geschatte verwachtingen.

Samenvattend kan worden opgemerkt dat elk van de typen modellen zijn specifieke voor- en nadelen kent. De direct computation modellen zijn theoretisch gezien de mooiste oplossing; maar in vrijwel alle praktische gevallen is de situatie bij een gevechtsmodel te complex voor deze methode. Monte Carlo simulatie heeft als nadeel dat een groot aantal runs moet worden gedraaid om een uitkomst te krijgen. Deterministische modellen hebben van de voornoemde modellen de hoogste maat van abstractie, maar hebben als voordeel dat met dit soort modellen snel een eerste orde benadering van het gevechtsverloop kan worden

gegeven.

Het project in het kader waarvan deze literatuurstudie wordt uitgevoerd, is bedoeld om te voorzien in de behoefte aan een model dat snel een eerste orde benadering van een gevechtuitskomst kan geven. Hierdoor is gekozen voor een deterministisch model. De volgende paragraaf beschrijft de deterministische modellen iets uitgebreider.

## 2.4 Deterministische modellen

Binnen de groep deterministische gevechtsmodellen kunnen een aantal type vergelijkingen worden onderscheiden:

- gewone differentiaalvergelijkingen
- partiële differentiaalvergelijkingen

De methode met de langste traditie maakt gebruik van gewone differentiaalvergelijkingen. Voorbeelden hiervan zijn de Lanchestervergelijkingen, onder andere gebruikt in de wargame Soltau. Dit literatuuroverzicht blijft beperkt tot Lanchestervergelijkingen in klassieke en in aangepaste vorm.

Ontwikkelingen van de laatste jaren zijn de gevechtsmodellering op basis van partiële differentiaalvergelijkingen en de methode die gebruik maakt van neurale netten. Bij gevechtsmodellering met behulp van partiële differentiaalvergelijkingen worden de gewone differentiaalvergelijkingen vervangen door een systeem van reactie-diffusie vergelijkingen, zoals die ook in de mathematische biologie voorkomen. Dit heeft als voordeel boven het gebruik van gewone differentiaalvergelijkingen dat de ruimtelijke verdeling van de gevechtskracht in de partiële vergelijkingen makkelijker te verwerken is. Voor de methode die gebruik maakt van partiële differentiaalvergelijkingen wordt verwezen naar de referten [33, 34, 50]. Een andere recente ontwikkeling binnen gevechtsmodellering is de methode gebaseerd op mini-battles. Deze methode heeft als uitgangspunt het opdelen van een gevecht in een aantal kleinere deelgevechten, de zogeheten mini-battles. Binnen de mini-battles kan de attritie eventueel met behulp van stochastische duel modellen worden verwerkt. Voor deze methode wordt verwezen naar [11, 12, 13].

Deze laatste twee methoden zijn nog volop in ontwikkeling en er bestaat nog niet echt een goed beeld van de bruikbaarheid van deze methoden. De methode gebaseerd op gewone differentiaalvergelijkingen wordt veel gebruikt (met name voor de hogere niveaus gevechtsmodellen). Binnen de modellering op basis van gewone differentiaalvergelijkingen worden Lanchestervergelijkingen het meest gebruikt.

In het volgende hoofdstuk wordt een beschrijving van het modelleren met Lanchestervergelijkingen gegeven.

### 3 Lanchestervergelijkingen

#### 3.1 Inleiding

De Lanchestervergelijkingen zijn ontwikkeld door Frederick William Lanchester (1868-1946) in het jaar 1914 [29]. Het was de eerste poging tot het wiskundig beschrijven van een gevecht en tot het op die manier voorspellen van gevechtsuitkomsten. De uit de vergelijkingen afgeleide kwadratenwet (overeenkomend met het principe van concentratie van gevechtskracht) heeft een grote invloed op de theorie van de gevechtsvoering uitgeoefend.

Lanchestervergelijkingen waren de eerste poging om gevechtsuitkomsten mathematisch te beschrijven. Ondanks of juist dankzij hun eenvoud hebben ze lang standgehouden. Gevechtsmodellen als Soltau, of andere op de WEI/WUV-methode gebaseerde modellen gaan met enige aanpassingen direct op de Lanchestervergelijkingen terug.

Dit hoofdstuk bestaat uit de volgende paragrafen. In paragraaf 3.2 worden de Lanchestervergelijkingen in hun oorspronkelijke vorm beschreven. De kwadratenwet en de lineaire wet van Lanchester worden afgeleid. De aannamen die ten grondslag liggen aan de Lanchestervergelijkingen komen ter sprake, evenals de meest voorkomende bezwaren tegen de vergelijkingen. Naar aanleiding van deze bezwaren zijn er in de loop der jaren vele variaties op de klassieke Lanchestervergelijkingen ontstaan. Een beschrijving hiervan is te vinden in paragraaf 3.3.

#### 3.2 Klassieke Lanchestervergelijkingen

De klassieke Lanchestervergelijkingen beschrijven een gevecht tussen twee partijen, één partij aangeduid als blauw (notatie:  $b$ ) en één partij aangeduid met rood (notatie:  $r$ ). Het aantal wapensystemen van één van beide partijen op tijdstip  $t$  wordt aangeduid met  $b(t)$ , respectievelijk  $r(t)$ . Het verlies van een partij op het tijdstip  $t$  hangt van het aantal systemen van de andere partij af en tevens van een mate van effectiviteit van het wapensysteem van de andere partij. De effectiviteit van de systemen wordt aangegeven met  $k_b$  voor de systemen aan blauwe kant, respectievelijk  $k_r$  voor de systemen aan rode kant. Deze effectiviteitsfactor  $k_r$  wordt meestal gezien als product van de vuursnelheid van een enkel systeem van de rode partij vermenigvuldigd met de kans op uitschakeling van een blauw systeem met één enkel schot. De factoren  $k_b$  en  $k_r$  worden ook attriticoëfficiënten genoemd.

Om de beschrijving compleet te maken moet tevens gegeven zijn hoeveel systemen beide partijen op tijdstip 0 tot hun beschikking hebben (notatie:  $b_0$ ,  $r_0$ ). Als al deze gegevens

bekend zijn kan een gevechtsverloop worden beschreven met behulp van het volgende stelsel gewone differentiaalvergelijkingen:

$$\begin{cases} b'(t) = -k_r r(t) & b(0) = b_0 \\ r'(t) = -k_b b(t) & r(0) = r_0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Dit stelsel vergelijkingen is een stelsel gewone differentiaalvergelijkingen met constante coëfficiënten. Het wordt aangeduid met de term Lanchestervergelijkingen voor gericht vuur.

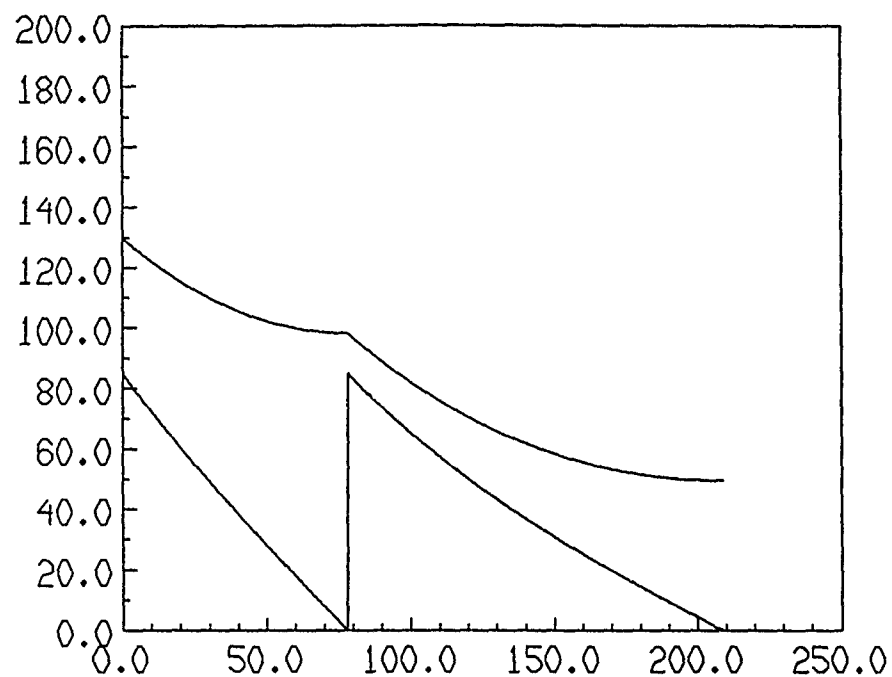
Het stelsel is exact oplosbaar.

$$\begin{cases} b(t) = \frac{1}{2} \left( b_0 + \sqrt{\frac{k_r}{k_b}} r_0 \right) e^{-\sqrt{k_b k_r} t} + \frac{1}{2} \left( b_0 - \sqrt{\frac{k_r}{k_b}} r_0 \right) e^{\sqrt{k_b k_r} t} \\ r(t) = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{k_b}{k_r}} b_0 + r_0 \right) e^{-\sqrt{k_b k_r} t} + \frac{1}{2} \left( -\sqrt{\frac{k_b}{k_r}} b_0 + r_0 \right) e^{\sqrt{k_b k_r} t} \end{cases}$$

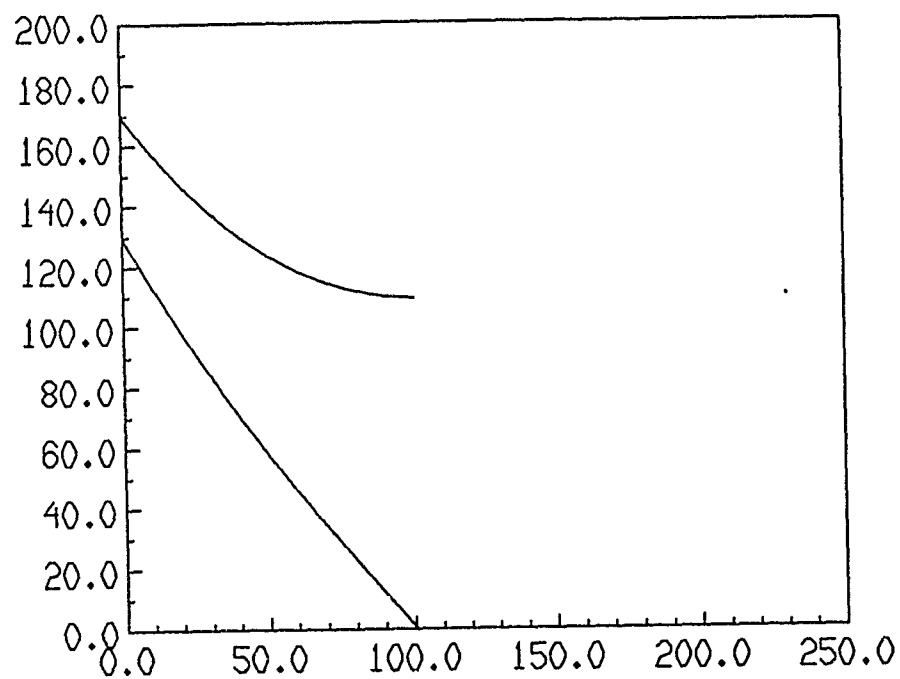
Door de eerste vergelijking van (3.1) met  $k_b \cdot b$  en de tweede vergelijking met  $-k_r \cdot r$  te vermenigvuldigen, ze vervolgens bij elkaar op te tellen en te integreren kan de volgende uitdrukking worden afgeleid:

$$(k_b b^2(t) - k_r r^2(t)) = \text{constant} = k_r b_0^2 - k_b r_0^2$$

Uit deze uitdrukking volgt direct dat voor de uitslag van een gevecht het teken van de uitdrukking  $(k_b b_0^2 - k_r r_0^2)$  bepalend is. Als het teken van deze uitdrukking positief is dan wint blauw; is het teken negatief dan wint rood. Een evenwichtssituatie waarin geen van beide partijen wint, maar waarin beide partijen asymptotisch naar 0 convergeren ontstaat wanneer  $(k_b b_0^2 - k_r r_0^2) = 0$ . Deze vuistregel voor winst of verlies in een gevecht wordt de **kwadratenwet van Lanchester** genoemd. Uit het kwadratisch voorkomen van het aantal systemen in deze uitdrukking, naast het lineair voorkomen van de effectiviteit van de wapensystemen volgt dat het volgens deze wet effectiever is om het aantal systemen te vergroten dan om de kwaliteit van de systemen te verhogen. Tevens kan uit de kwadratenwet van Lanchester het principe van concentratie van gevechtskracht worden afgeleid. Het is voor een partij nuttig om wanneer het met een overmacht wordt geconfronteerd, te proberen de tegenpartij te splitsen in twee delen die achtereenvolgens worden bestreden. Met behulp van de kwadratenwet en enkele rekenvoorbeelden is dit gemakkelijk te illustreren [29, 46]. In de onderstaande grafieken 3.1 tot en met 3.3 staan een aantal situaties grafisch weergegeven. In alle drie grafieken hebben alle partijen dezelfde attritiecoëfficiënt.

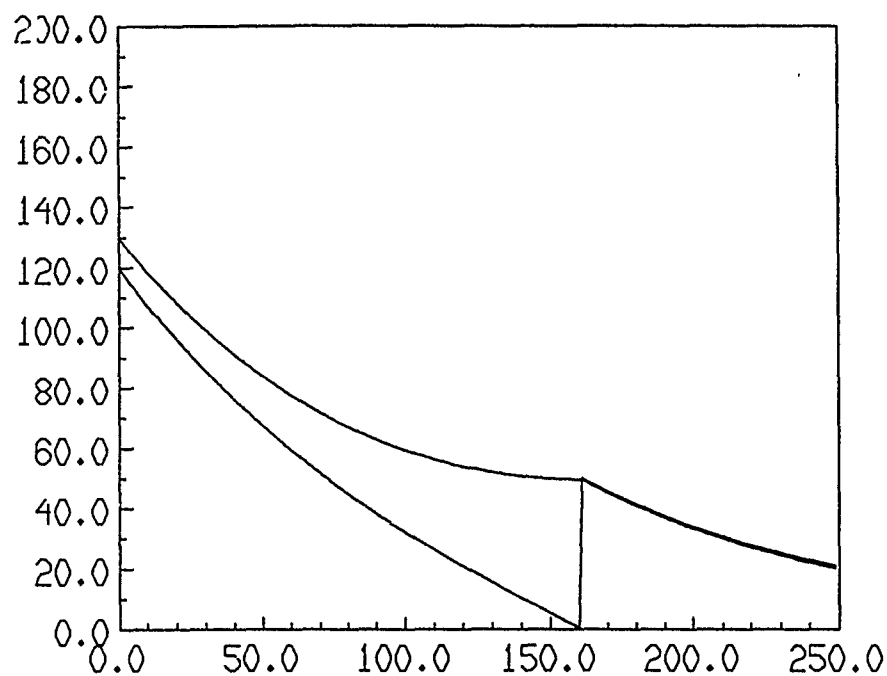


Figuur 3.1: 130 tegen 2 maal 85 systemen



Figuur 3.2: 130 tegen 170 systemen





Figuur 3.3: 130 tegen 120 plus 50 systemen

Een andere klasieke variant van de Lanchestervergelijkingen zijn de vergelijkingen voor oppervlakte vuur (area firing). Deze vergelijkingen zijn opgesteld voor een gevecht waarbij niet gericht wordt gevraagd, maar waar een hoeveelheid vuurkracht over een vast oppervlakte wordt verdeeld. Nu is het duidelijk dat niet alleen de hoeveelheid en de kwaliteit van de systemen van de tegenpartij het verlies van een partij bepalen, maar dat dit verlies ook evenredig is met het aantal eigen systemen. Het stelsel vergelijkingen dat deze manier van gevechtsvoering beschrijft wordt nu gegeven door:

$$\begin{cases} b'(t) = -k_r b(t)r(t) & b(0) = b_0 \\ r'(t) = -k_b r(t)b(t) & r(0) = r_0. \end{cases}$$

Opgemerkt dient te worden dat het stelsel vergelijkingen in deze vorm uitsluitend wederzijds indirect vuur representeert. Deze vorm van de vergelijkingen is gekozen uit historisch oogpunt om het principe van oppervlakte vuur in vergelijkingen te illustreren. Voor toepassingsmogelijkheden zullen de vergelijkingen voor oppervlakte vuur gecombineerd dienen te worden met de vergelijkingen voor direct vuur. Het criterium, bepalend voor winst of verlies, dat in dit geval kan worden afgeleid is het volgende:

$$\begin{cases} k_b b_0 - k_r r_0 > 0 & \text{blauw de winnende partij} \\ k_b b_0 - k_r r_0 < 0 & \text{rood de winnende partij} \\ k_b b_0 - k_r r_0 = 0 & \text{evenwichtssituatie} \end{cases}$$

Deze regel wordt de **lineaire wet van Lanchester** genoemd. Bovenstaand stelsel vergelijkingen wordt ook wel aangeduid met de term Lanchestervergelijkingen voor oppervlakte vuur.

Naast de Lanchestervergelijkingen voor direct en oppervlaktevuur bestaan er nog een aantal varianten (zoals bijvoorbeeld de vergelijkingen voor een guerrilla oorlog). Voor een kort overzicht hiervan wordt naar [31, 36, 43] verwezen.

In de loop der jaren heeft bij het gebruik van de vergelijkingen het stelsel aannamen dat ten grondslag ligt aan de Lanchestervergelijkingen een hoop bezwaren doen oprijzen. De aannamen die aan de klassieke Lanchestervergelijkingen voor gericht vuur ten grondslag liggen zijn de volgende:

- Elke partij is intern homogeen. Alle systemen zijn even kwetsbaar, en even effectief.
- Alle systemen aan beide kanten zijn binnen bereik van de andere kant en zijn doorlopend in het gevecht verwikkeld.
- Beide kanten beschikken over perfecte informatie (i.e. zijn altijd op de hoogte van de lokatie en de conditie van de troepen van de tegenstander). Er wordt alleen gevuurd op niet uitgeschakelde doelen. Zodra een doel is uitgeschakeld wordt direct op een ander doel overgeschakeld.
- Het vuur is uniform verdeeld over overlevende eenheden.
- De attritiecoëfficiënten  $k_b$ ,  $k_r$  blijven constant gedurende het gehele gevecht.

Het is duidelijk dat dit voor de meeste gevechten te zware aannamen zijn. Dit maakt dat er in de loop der tijd een hoop bezwaren tegen Lanchestervergelijkingen zijn ontstaan. De belangrijkste hiervan zijn:

- het homogene karakter van het gevecht. De aanname dat binnen één partij maar één soort wapen voorkomt is te beperkend. Er moeten meerdere wapensystemen met verschillende effectiviteit en kwetsbaarheid kunnen worden gedefinieerd.
- het gedurende het hele gevecht constant zijn van de attritiecoëfficiënten. De effectiviteit van de wapensystemen zal gedurende een gevecht niet constant zijn maar bijvoorbeeld afhangen van de afstand tussen beide partijen.
- het ontbreken in de klassieke Lanchestervergelijkingen van een modellering van de ruimtelijke verdeling van de gevechtskracht. De invloed van de posities van de eenheden moet kunnen worden meegenomen.

Om een aantal van deze bezwaren te verminderen zijn er op de klassieke Lanchestervergelijkingen in de loop der tijd een aantal variaties op de vergelijkingen ontstaan. Een selectie hieruit wordt behandeld in de volgende paragraaf.

### 3.3 Algemene Lanchestervergelijkingen

Om de bezwaren tegen de Lanchestervergelijkingen in hun klassieke vorm te omzeilen is een meer algemene Lanchestervergelijking ingevoerd.

Binnen Lanchestervergelijkingen wordt veel gebruik gemaakt van de indeling in homogene en heterogene vergelijkingen. Bij **homogene Lanchestervergelijkingen** wordt de gevechtskracht van een partij net als in de klassieke vergelijking in één variabele gemodelleerd. Bij **heterogene Lanchestervergelijkingen** worden binnen één partij meerdere variabelen onderscheiden. Hiermee wordt een partij ingedeeld in een aantal kleinere eenheden. De indeling in kleinere delen kan bijvoorbeeld gebaseerd zijn op een indeling in verschillende wapensystemen met verschillende effectiviteit, of op grond van verschillende omstandigheden, zoals positie en wijze van inzet. Binnen deze eenheden geldt de aanname omtrent homogeniteit echter nog steeds. De gevechtskracht van blauw wordt nu niet meer door één variabele  $b$  weergegeven, maar door  $n_b$  variabelen  $b_i$  voor  $i = 1, \dots, n_b$ , waarbij  $n_b$  het aantal groepen is waarin de blauwe partij is opgedeeld. De gevechtskracht van rood wordt gerepresenteerd door  $n_r$  variabelen  $r_i$   $i = 1, \dots, n_r$ . De attritiefactor  $k_b$  en  $k_r$  worden vervangen door matrices van parameters. Voor blauw stelt de parameter  $k_{b,ij}$  met  $i = 1, \dots, n_b$  en  $j = 1, \dots, n_r$  de effectiviteit voor van de  $i$ -de blauwe eenheid ten opzichte van de  $j$ -de rode eenheid. Voor de rode partij zijn de parameters  $k_{r,ij}$  met  $i = 1, \dots, n_r$  en  $j = 1, \dots, n_b$  op analoge wijze gedefinieerd.

De twee klassieke Lanchestervergelijkingen worden nu vervangen door  $n_b + n_r$  vergelijkingen voor de variabelen  $b_i, r_j$ .

$$\begin{cases} b'_i = - \sum_{j=1}^{n_r} k_{r,ji} r_j & b_i(0) = b_{i,0} \\ r'_j = - \sum_{i=1}^{n_b} k_{b,ij} b_i & r_j(0) = r_{j,0} \end{cases} \quad (3.2)$$

Hierbij zijn de waarden  $b_{i,0}$  en  $r_{j,0}$  de beginsterktes van beide partijen en voor  $i, j$  geldt  $i = 1, \dots, n_b, j = 1, \dots, n_r$ .

Een andere indeling die binnen Lanchestervergelijkingen te maken is, is die tussen **statische** en **dynamische** vergelijkingen. Bij statische modellen zal de waarde van systemen of eenheden worden uitgedrukt in een constante, die gedurende het gevechtsverloop niet wordt aangepast aan de veranderde omstandigheden. De constante representeert de gevechtskracht van een systeem gedurende de hele strijd. De dynamische aspecten van het gevecht worden geacht door middeling in dit ene getal te zijn verwerkt.

Bij dynamische modellen wordt de kracht van een eenheid aangepast aan de in de tijd veranderende parameters, zoals bijvoorbeeld de afstanden tussen de eenheden.

Zoals in de vorige paragraaf te lezen was, was één van de voornaamste bezwaren tegen de klassieke Lanchestervergelijkingen het constant zijn van de effectiviteitsparameters. Aangezien het constant zijn van de parameters zeker op laag niveau niet realistisch is, zullen de constante effectiviteitsfactoren vervangen dienen te worden door functies die van allerlei

omstandigheden afhangen. Uit het feit dat trefkansen in het algemeen sterk afstandsafhankelijk zijn, volgt dat de uitdrukkingen  $k_{b,ij}$  en  $k_{r,ji}$  van de afstand  $d_{ij}$  tussen de blauwe en rode eenheden dienen af te hangen. Ook moeilijk te bepalen effecten als terreinomstandigheden zullen invloed op de effectiviteitsfactoren uitoefenen. Als men in vergelijking (3.2) de constante  $k_{b,ij}$  en  $k_{r,ji}$  vervangt door uitdrukkingen die de meest uiteenlopende omstandigheden omvatten (en waarvan tevens  $b_i$  en/of  $r_j$  deel kunnen uitmaken), dan geeft deze vergelijking de algemene Lanchestervergelijking weer.

Voor het maken van het eigenlijke gevechtsmodel zal nu bepaald moeten worden welke omstandigheden de effectiviteitsfactoren beïnvloeden en hoe deze omstandigheden doorwerken. In dit rapport volgt geen gedetailleerde beschrijving van deze effectiviteitsfactoren, aangezien deze beschrijvingen in de literatuur haast niet te vinden zijn. Wel zijn er algemene beschrijvingen over attritie methodologie te vinden. Hiervan volgt een kort overzicht in het volgende hoofdstuk. Voor de gedetailleerde beschrijving van de modellering van de effectiviteitsfactoren zoals die voor dit project is uitgevoerd, wordt verwezen naar de nog te verschijnen modelbeschrijving.

## 4 Attritie methodologie

### 4.1 Inleiding

Veel modellen van hoog niveau grijpen op de klassieke Lanchestervergelijkingen terug en zijn als zodanig wiskundig gezien niet erg ingewikkeld. De moeilijkheid ligt nu dan ook niet bij de wiskundige vergelijkingen, maar bij het vinden van goede manieren om de gevechtskracht van eenheden en/of wapensystemen te bepalen. In dit hoofdstuk worden een aantal methoden om de gevechtskracht van eenheden te bepalen behandeld [32]. Onder de firepower score van een wapensysteem wordt verstaan de relatieve waarde van een wapensysteem gebaseerd op zijn vuurkracht. De firepower index van een eenheid wordt verkregen door sommatie van de firepower scores over alle wapensystemen waaruit de eenheid bestaat. De methoden voor het bepalen van firepower scores zijn in te delen in drie categorieën:

- subjectieve fire-power methoden
- analytische fire-power methoden
- de Bonder-methode

Bij subjectieve firepower methoden worden de scores van de systemen bepaald door middel van militaire "judgement" en ervaring. In het algemeen worden verschillende karakteristieke eigenschappen van wapensystemen gecombineerd tot één firepower. Het belang van deze eigenschappen voor de gevechtskracht van het systeem wordt bepaald door een lineaire wegingstechniek met behulp van de Delphi methode. Voorbeelden van hierop gebaseerde methoden zijn de Weapon Effectiveness Indices/Weighted Unit Values (WEI/WUV) methode en de Army War College Combat Power Values en de Quantified Judgement method [32]. In paragraaf 4.2 zal de WEI/WUV methode worden beschreven, dit in verband met het gebruik van deze methode in Soltau.

Bij analytische firepower methoden worden de scores op objectievere wijze bepaald, namelijk als het product van de verwachte hoeveelheid verschoten munitie met de effectiviteit van een enkel schot. De gegevens worden verzameld uit "field manuals", technische rapporten en historische data.

De Bonder-methode gebruikt gedetailleerde technische gegevens van de wapensystemen. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op deze methode.

## 4.2 Weapon Effectiveness Indices/ Weighted Unit Value

Binnen de WEI methode worden de wapensystemen ingedeeld in acht categorieën (main battle tanks, small arms, air defence systems, infantry fighting vehicles, anti-armor weapon systems, artillery, mortars, attack helicopters) [5]. Binnen elk van deze categorieën wordt een standaardwapen gekozen. Dit wapen krijgt de WEI-waarde 1. Voor elke categorie wordt vervolgens een lijst van technische gegevens aangelegd (bijvoorbeeld: vuursnelheid, terreinvaardigheid (Vehicle Cone Index, VCI), verplaatsingssnelheid, standaard munitievoorraad). Deze gegevens zijn geordend in een aantal aspecten:

- vuurkracht
- mobiliteit
- kwetsbaarheid

De waarden van de technische gegevens worden genormeerd op het gekozen standaardwapen van de categorie. Aan een aantal experts wordt vervolgens gevraagd om het belang van de technische gegevens binnen de aspecten af te wegen. Daarna worden gewichten bepaald om de aspecten te wegen voor een bepaalde categorie wapens. Op deze manier ontstaat een waarde voor de gevechtskracht van een wapen genormeerd op het standaardwapen van die categorie: de WEI-waarde. Door vervolgens de standaardwapens ook onderling te vergelijken ontstaat de eigenlijke gevechtskracht: de WUV-waarde. Dit proces wordt twee keer uitgevoerd; één keer voor wapensystemen in de aanvallende en een keer in een verdedigende rol. Wanneer  $b_0$  de op deze wijze afgeleide WUV-waarde voor de blauwe partij voorstelt en  $r_0$  de WUV-waarde van de rode partij, wordt het gevecht beschreven door het volgende stelsel vergelijkingen:

$$\begin{cases} b'(t) = -ar(t) & b(0) = b_0 \\ r'(t) = -ab(t) & r(0) = r_0. \end{cases}$$

Hierbij is  $a$  de attritiecoëfficiënt die de snelheid van het gevecht regelt. De waarde van  $a$  verschilt voor de verschillende modellen die van de WEI/WUV methode gebruik maken.

Er bestaat een aantal varianten op de WEI/WUV methodologie om de dynamische omstandigheden van het gevechtveld toch enigszins te representeren. Zo wordt bij Soltau een eenheid die voor een hindernis staat extra kwetsbaar en heeft een eenheid minder verliezen te verduren al naar gelang de dekkinggraad hoger is [45].

## 4.3 De Bonder-methode

In de Bonder-methode worden in de klassieke Lanchestervergelijkingen de volgende attritiecoëfficiënten ingevoerd:

$$k_b = \frac{1}{E(T_{br})}$$

Hierbij is  $E(T_{br})$  de verwachting voor de tijd benodigd voor één blauw systeem om één rood systeem uit te schakelen. Voor de uitdrukking  $E(T_{br})$  kan met behulp van Markov theorie de volgende vergelijking worden afgeleid [15, 16, 32, 36, 44]:

$$E(T_{br}) = t_a + \frac{1}{a_{br}p_{br}} \quad (3.3)$$

Hierbij is  $t_a$  de tijd benodigd voor een blauw systeem om een rood doel te acquireren,  $a_{br}$  de vuursnelheid van het blauwe systeem gedurende het duel en  $p_{br}$  de uitschakelkans van het rode systeem door een enkel schot van het blauwe systeem.

Merk op dat deze methode in tegenstelling tot de firepower score methoden niet statisch van aard is, maar dynamisch. De eigenschappen die in vergelijking (3.3) worden verwerkt, zullen tijds- en afstandafhankelijk zijn.

In de studie [32] die een aantal attritie methoden vergelijkt, wordt de Bonder-methode als meest betrouwbaar beoordeeld. Als nadeel van de methode wordt de gevoeligheid van de invoerparameters genoemd.

## 5 Globale modelbeschrijvingen

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen in het kort een aantal modellen beschreven worden. Hierbij wordt niet op alle aspecten ingegaan, maar alleen op die modeldelen die van belang zijn in verband met de ontwikkeling van het nieuwe model. Verder dient te worden opgemerkt dat alle modellen verschillende doelstellingen hebben. Hierdoor zal de informatie die gegeven wordt over de verschillende modellen niet geheel gelijkvormig zijn.

### 5.2 Balincer

#### 5.2.1 Algemeen

De naam Balincer is een acronym voor Balance of Interest in the Central Region. Het is gevechtssimulatiemodel gebaseerd op de methode van "System Dynamics" [22]. Het model is gebouwd met het System Dynamics pakket Stella [37] op een Apple Macintosh door de Britse organisatie DOAE [52, 53]. De wijze van optreden van blauw is gebaseerd op richtlijnen van Northern Army group (NORTHAG) en 2ATAF (2 Allied Tactical Air Force).

#### 5.2.2 Methode

De onderliggende methode van Balincer is de methode van "System Dynamics". De documentatie bestaat uit een beschrijving van de parameters en alle onderliggende vergelijkingen. Tevens bevat de documentatie een overzicht van de diagrammen zoals die in Stella geïmplementeerd zijn en symbolische invloed diagrammen die de wisselwerking tussen de verschillende parameters weergeven. De gevechtssterkte van de eenheden wordt bepaald aan de hand van een firepower score methode.

#### 5.2.3 Niveau

Balincer beschrijft een strijd op Army Group niveau tussen twee zijden. Het model werkt met drie parallele grondgevechten met elk aan blauwe zijde een legerkorps. De middelste



strijd is "thrust" (doorbraak), de beide overige zijn "holding" (verdediging). Het luchtgevecht is volkomen in het model geïntegreerd.

#### 5.2.4 Terrein

Het terrein oefent slechts zijdelings invloed uit. Zoals het acronym Balincer al aangeeft wordt uitgegaan van het centrale Europese gebied. Het gebied is in drie zones verdeeld die verdedigd worden door een legerkorps. Verder is het gebied in de diepte opgedeeld in de volgende zones:

- "contact area" (tot 4-5 km van de FEBA),
- "depth area" (van 4-5 km tot 30-40 km van de FEBA),
- "deep area" (van 30-40 km tot 100 km van de FEBA),
- "rear area" (verder dan 100 km van de FEBA),

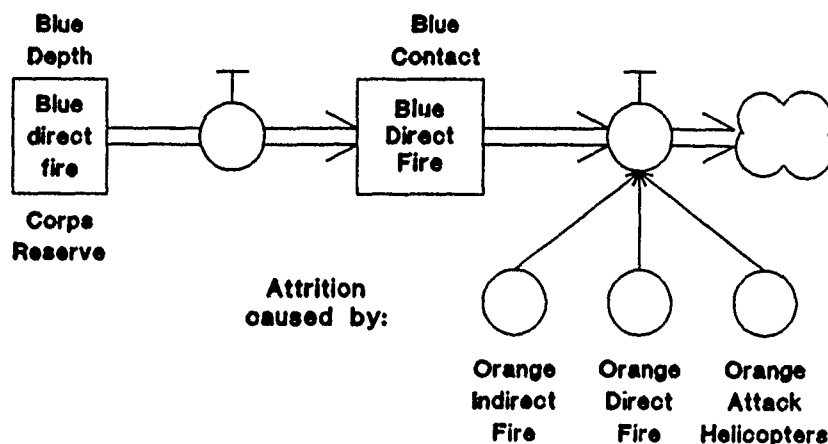
Tussen de verschillende gebieden vindt een constante uitwisseling van gevechtskracht plaats. Zo vindt er bijvoorbeeld een versterking van de direct vurende wapens in de contact area door de eenheden uit de "depth" plaats op grond van criteria.

#### 5.2.5 Eenheden

Alle hoeveelheden systemen worden met behulp van Stella gemodelleerd als "stocks" of "levels". De binnenkomende "flow" representeert de aanwinst van gevechtskracht door versterking van achteruit (Zie figuur 5.1). De uitgaande "flow" representeert verliezen aan gevechtskracht door terugtrekking of attritie. Binnen de wapensystemen worden drie categorieën onderscheiden

- direct vurende wapens,
- indirect vurende wapens,
- gevechtshelicopters.

Blauw beschikt verder nog over hulpmiddelen (bijv. mijnen, logistieke middelen en A-WACS).



Figuur 5.1: Balincer : Blauwe grondeenheden

### 5.2.6 Attritie

De attritie tussen direct vurende wapens is gebaseerd op een variant van de Lanchestervergelijkingen. De verliezen van een eenheid zijn evenredig met het product van de gevechtskracht van de tegenstander en de vierkantswortel van de eigen sterkte. Dit zorgt voor een systeem tussen de "kwadratenwet" en de "lineaire wet" in. De attritie wordt verder bepaald door parameters die de intensiteit van het gevecht en de mate van voorbereiding van een eenheid aangeven.

De direct vurende wapens worden gemodelleerd met behulp van de definitie van gevechtskracht die gebaseerd is op aantallen wapens en hun "kill-rates". De gebruikte methode behoort dus tot de firepower score methodiek.

De zone waarin de direct vurende wapens zich bevinden heeft invloed op het feit door welke systemen men attritie oploopt. Zo kunnen in de contact zone systemen worden uitgeschakeld door vijandelijk OAS (Offensive Air Support), direct vuur, indirect vuur en gevechtshelicopters; terwijl in de "rear areas" systemen alleen worden uitgeschakeld door vijandelijk OAS.

### 5.2.7 Scenario

De blauwe wijze van optreden is gebaseerd op de richtlijnen van NORTHAG en 2ATAF. Het doel van blauw is het maximaliseren van de begintijd van de strijd tot de doorbraak van rood. Hiervoor zijn vier mogelijke wijzen van optreden ontwikkeld door NORTHAG.

Gedurende de hele strijd wordt door alle korpsen op één van deze wijzen van optreden geopereerd. Inzet van de reserve eenheden wordt gestuurd door parameters op grond van een aantal criteria (op grond van tijdfactoren of de positie van de FEBA).

#### 5.2.8 Beschikbaar komende informatie

Binnen Stella zijn alle gerepresenteerde stocks en parameters beschikbaar als functie van de tijd, zowel grafisch als in tabelvorm. Zo is de positie van de FEBA als grafiek beschikbaar. Het model wordt gebruikt om het succes van investeringen aan verschillende middelen aan blauwe zijde te kunnen bepalen. Als mogelijke "Measure of Effectiveness" aan blauwe zijde wordt genoemd de tijd die rood nodig heeft om een doorbraak te bereiken.

#### 5.2.9 In te stellen mogelijkheden

Het model bevat een groot aantal parameters waarmee het model kan worden gestuurd. Aangezien Balincer gebruikt kan worden om de effectiviteit van investeringen aan blauwe zijde te bepalen, zal meestal gevarieerd worden in samenstelling van de blauwe eenheden en aantallen en soort hulpmiddelen bij blauw.

#### 5.2.10 Bijzonderheden

Er bestaat een goede documentatie van Balincer waarin zowel alle vergelijkingen als de waarden van de parameters te vinden zijn. Bij het verkrijgen van een goed begrip van het model kunnen vooral de symbolische diagrammen behulpzaam zijn.

#### 5.2.11 Samenvatting

Balincer is een model voor gebruik op Army Group niveau.

Het is gebaseerd op de inzetfilosofie van NORTHAG en 2ATAF, en is voorbereid voor de situatie na het CFE-verdrag. Volgens de documentatie wordt er vanuitgegaan dat de gemodelleerde situatie tot het jaar 2014 van toepassing blijft.

Het gebruik van het Software pakket Stella heeft als nadeel dat parameters en overige data integraal deel uitmaken van het model. Ook het scenario zit versleuteld in het model. Hierdoor is niet duidelijk of gemakkelijk aanpassingen kunnen worden verricht.

## 5.3 Balls

### 5.3.1 Algemeen

Het model Balls (acronym van Bring Average Light in Lousy Situations) is ontwikkeld met het pakket Stella op de Apple Macintosh. Het model is ontwikkeld door het Prins Maurits Laboratorium (TNO) en is gebruikt in de studie Pantser bestrijding lange dracht [42].

### 5.3.2 Methode

De methode is gebaseerd op Lanchestervergelijkingen. Hierbij zijn de attritiecoëfficiënten niet constant, maar afhankelijk van de afstand tussen de eenheden.

### 5.3.3 Niveau

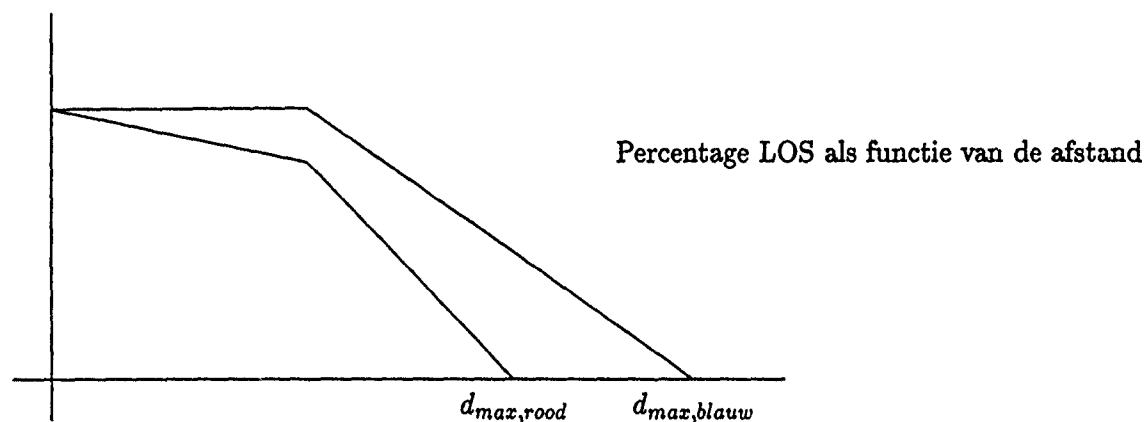
Balls modelleert een strijd met aan blauwe zijde een team-opstelling en aan rode zijde een bataljon.

### 5.3.4 Terrein

Binnen Balls zijn een aantal terreinsoorten in te stellen. Er kan gekozen worden uit de terreinsoorten licht begroeid, gelijkmatig begroeid en zwaar begroeid. Bij elk van deze terreinsoorten zijn twee grafieken gedefinieerd, voorstellend als functie van de afstand het percentage van de tegenstander dat gezien wordt voor zowel rood als blauw.

De doorwerking van deze grafieken op de interactie tussen systemen staat niet precies beschreven in de op het FEL beschikbare documentatie. Ook is niet helemaal duidelijk of de terreingrafieken uitsluitend line-of-sight gegevens representeren of dat ze ook detectiegegevens bevatten. Als  $d_{max,blauw}$  gedefinieerd wordt als het supremum voor blauw van de verzameling afstanden waarop dit percentage  $> 0$  is en  $d_{max,rood}$  als het overeenkomstige supremum voor rood, dan geldt voor deze grafieken de eigenschap dat  $d_{max,blauw} > d_{max,rood}$ . Dit verschil representeert het detectievoordeel dat blauw gezien zijn dekkinggraad heeft. De terreingrafieken lijken dus niet alleen gekoppeld aan de terreinsoort, maar tevens aan de manier van optreden.

Binnen het terrein is de plaats van hindernissen op te geven (bijvoorbeeld mijnenvelden).



Figuur 5.2: Terrein grafieken

### 5.3.5 Eenheden

Vanwege het gebruik van het System Dynamics pakket Stella zullen de eenheden gerepresenteerd zijn als "system dynamics" begrippen (in dit geval stocks). Beide zijden bestaan uit een aantal eenheden (stocks) die interactie hebben met de eenheden van de andere zijde. Voor beide zijden is aan te geven welke en hoeveel platforms van elke soort men tot zijn beschikking heeft. De rode compagnieën naderen de VLET volgens een opgegeven tijd-afstand grafiek; de blauwe eenheden treden statisch en ingegraven op.

Het aantal stocks dat wordt gebruikt om de beide zijden te representeren is niet aangegeven in de op het FEL beschikbare documentatie.

### 5.3.6 Attritie

De effectiviteit van de verschillende wapensystemen wordt binnen Balls uitgedrukt in één enkele factor: de kwaliteitsfactor. Deze factor verwerkt een groot aantal eigenschappen die zowel tijds- als afstandsafhankelijk kunnen zijn. De kwaliteitsfactor bevat gegevens over tref- en uitschakelkansen als functie van de afstand, de fractie zichtbare platforms afkomstig uit de terreingrafieken en detectie- en schotherhalingstijden.

### 5.3.7 Scenario

Over het optreden van blauw en rood lijken een aantal dingen impliciet te worden aangenomen in het model. Zo treedt blauw statisch op en is zwaar gedekt. Rood valt aan tot aan het mijnenveld, daar gaan de rode systemen in lichte dekking. Een aantal eigenschappen kunnen worden gevarieerd door het instellen van parameters. In [42] worden verschillende opties onderzocht waarin de volgende eigenschappen worden gevarieerd.

Voor rood

- artilleriesteun voor rood
- aantal sectoren
- aantal compagnieën voor (2 voor, 1 in reserve; of 3 voor, geen reserve)
- stopcriterium (als het totaal aantal systemen van rood lager wordt dan een bepaald percentage van het initiële aantal systemen dan heeft blauw gewonnen).

Voor blauw worden de volgende eigenschappen gevarieerd:

- artilleriesteun blauw
- samenstelling eenheden (hoeveelheid en soort pelotons)
- gemengd of niet (links en rechts dezelfde samenstelling van de eenheden)
- aantal sectoren
- stopcriterium

### 5.3.8 Beschikbaar komende informatie

De aantallen platforms zijn als functie van de tijd beschikbaar, zowel in grafiekvorm als in tabelvorm. Verschillende opties kunnen worden gedraaid, met verschillende samenstelling van de eenheden in verschillende terreintypen. Hiermee wordt onder andere het aantal benodigde middelbare dracht wapens nodig voor winst van blauw bepaald, gegeven de rest van de samenstelling van het team.

### 5.3.9 In te stellen mogelijkheden

Zoals in de bovenstaande subparagrafen te lezen is, kan er binnen Balls gekozen worden uit verschillende voorgedefinieerde terreintypes. De samenstelling van de eenheden kan worden gevarieerd en er kan worden gekozen uit een beperkt aantal wijzen van optreden voor zowel rood als blauw.

### 5.3.10 Bijzonderheden

Het model Balls draait op een Apple Macintosh en is gebouwd met het System Dynamics pakket Stella. Bij hoge aantallen eenheden aan beide kanten die men als aparte stock wil representeren wordt het programma Stella voor de gebruiker snel minder bruikbaar.

Over de snelheid van het gevecht wordt voor beide zijden een reductiefactor gelegd: de zogeheten "pace of the battle". Op grond van schaarse praktijkvoorbeelden wordt geconcludeerd dat een gevecht zich ten opzichte van schietbaangegevens een factor 2 à 4 langzamer afspeelt.

### 5.3.11 Samenvatting

Het is niet helemaal duidelijk of het model Balls gemakkelijk aan te passen is aan variatiemogelijkheden die buiten de huidige mogelijkheden vallen. Dat het werken met Stella niet altijd even flexibel is kan worden afgeleid uit het feit dat een optie waarin blauw met verschillende samenstelling op links en rechts optreedt niet gemakkelijk te implementeren was met het huidige model.

Erg veel effecten worden geaggregeerd tot één enkel getal: de kwaliteitsfactor. Een formule hoe deze factor wordt bepaald uit gegevens als detectietijden en gegevens uit de Database wapenindicatoren [38, 40] staat niet gegeven. Tevens is uit de op het FEL beschikbare documentatie niet duidelijk hoe de terreingrafieken en de manier van optreden op elkaar afgestemd zijn.

## 5.4 Kosimo

### 5.4.1 Algemeen

Kosimo is een acronym van "Korps Simulations Model". Het model is ontwikkeld door IABG (Duitsland) [1].

### 5.4.2 Methode

Kosimo is een gesloten deterministisch gevechtssimulatiemodel. Er wordt rekening gehouden met tijdsaspecten van de landoorlog en de bevelvoering. Hiervoor is een C<sup>2</sup>-model ontwikkeld (Kogen genaamd) dat de bevelvoering simuleert. Verder worden bijzondere gebeurtenissen als doorbraaksectoren in de VRW en inzet van de luchtmacht verwerkt.

### 5.4.3 Niveau

Kosimo wordt gebruikt om een strijd te modelleren met aan blauwe zijde een Legerkorps en aan rode zijde een leger. Beide zijden beschikken over luchtmacht. De eenheden van blauw hebben het niveau brigade en van rood divisie.

### 5.4.4 Terrein

Het terrein bevat coördinatielijnen en gebieden. Belangrijke lijnen (zoals VRW, VLET, aanvalsassen etc) zijn gerepresenteerd als een verzameling lijnstukken. Doorwerking van het terrein op de attritie gebeurt indirect aan de hand van de statistische gegevens die door een ander programma, AFRA genaamd worden gegenereerd. De invoer is zo beperkt mogelijk gehouden. Voor het aangeven van de gebieden (zoals coördinatiegebieden) volstaat het aangeven van enkele hoekpunten.

### 5.4.5 Eenheden

Het niveau van de eenheden is aan blauwe zijde brigade, aan rode zijde divisie.



#### 5.4.6 Attritie

Binnen Kosimo worden de attritie factoren vastgesteld met behulp van het gevechtsmodel AFRA. Van dit model is weinig informatie beschikbaar. AFRA verwerkt gegevens uit een databank, die is opgebouwd uit simulatieresultaten van een niet nader genoemd statistisch gevechtssimulatiemodel. Mogelijk wordt hier het model PABST of KORA genoemd.

#### 5.4.7 Scenario

Blauw heeft de keuze uit het voeren van het verdragend gevecht, de verdediging en de tegenaanval als mogelijke wijzen van optreden. Rood heeft als mogelijke wijzen van optreden aanval en verdediging. Tevens zijn er verschillende manieren van optreden op het gebied van de luchtoorlog in het model geïntegreerd. Rood kan o.a. variëren in aanvalsdoelen en aanvalsassen, het bepalen van de volgorde en het tijdstip van het inzetten van de echelons en het inzetten van de luchtmachtseenheden. Blauw kan o.a. variëren in de positionering van de eenheden, de toekenning van de luchtmachtseenheden voor CAS/BAI missies en de inzet van de reserve.

#### 5.4.8 Beschikbaar komende informatie

Tijdsverloop van het gevecht, waarbij de nadruk ligt op consequenties van besluitvorming.

#### 5.4.9 In te stellen mogelijkheden

De nadruk ligt in de variatiemogelijkheden in de bevelvoering voor rood en blauw.

#### 5.4.10 Bijzonderheden

Kosimo is niet één model, maar verwerkt gegevens uit een aantal afzonderlijke modellen. Zo wordt Kogen gebruikt voor de modellering van C<sup>2</sup>-aspecten. AFRA wordt gebruikt als gevechtsmodel. Er bestaat de mogelijkheid om Kosimo interactief te draaien of als gesloten model.

#### 5.4.11 Samenvatting

Het model Kosimo is ontwikkeld om de gevolgen van het bevelvoerings proces te representeren. De interactieve sessies die met het model kunnen worden gedraaid kunnen behulpzaam zijn bij het opstellen van C<sup>2</sup> regels en gegevens.

### 5.5 TAM

#### 5.5.1 Algemeen

De naam TAM staat voor Theater Analysis Model. Het is ontwikkeld door Booz, Allen and Hamilton Inc [3]. Het is een niet-deterministisch model. Het omvat een aantal modellen:

- "Air-land Campaign Model": een simulatieprogramma voor de grond- en luchtoorlog op theater niveau.
- "Maritime Campaign model (MCM)": simuleert wereldwijde maritieme operaties.
- Een submodel van bovenstaande MCM is de "Naval Engagement Model" dat gedetailleerde acties evalueert van "battlegroups", individuele schepen, onderzeeboten en vliegtuigen.
- "Air Engagement Model": simuleert interacties tussen vliegtuigen, SAM's, sensoren en grond en maritieme doelen.

#### 5.5.2 Methode

Het model is interactief, vereist menselijke spelers en is flexibel opgezet. De methode is gebaseerd op een "firepower score" methode.

#### 5.5.3 Niveau

TAM simuleert een strijd op theater niveau. Zowel de maritieme strijd als de grond- en luchtoorlog kunnen worden gesimuleerd.

#### 5.5.4 Terrein

In TAM wordt het theater gerepresenteerd door een "area". Areas vormen een abstract overzicht van het theater. Over een "area" kan eventueel een kaart worden gelegd om de onderliggende geografie te vormen. Een area kan verder zijn opgedeeld in één of meer sectoren. Sectoren dienen ter opdeling van het grondgevecht binnen een area in kleinere delen. Ze representeren geografische of organisatorische opdelingen van het theater.

Er is geen directe invloed van terrein. Terreineffecten werken als vermenigvuldigingsfactoren op de firepower van een eenheid. Dit als representatie van degradatie of verbetering van de vuurkracht in bepaalde typen terrein. De kaart die over de area is gelegd kan worden bestudeerd om te bepalen welk terreintype in welke sector overheerst.

#### 5.5.5 Eenheden

De gevechtssterkte van de eenheden wordt bepaald door het sommeren van de firepower van de wapensystemen waaruit de eenheid is opgebouwd. De grootte van de eenheden is niet expliciet vastgelegd. Eenheden worden binnen een sector ingedeeld in eerste echelons en tweede echelon eenheden.

#### 5.5.6 Attritie

De gevechtsresultaten die binnen TAM beschikbaar komen zijn:

- Het aantal door attritie verloren systemen.
- Het cohesie verlies van de eenheid. Elke eenheid beschikt over een cohesiefactor, die de een maat is voor leiderschap en moraal.
- De positie van de FEBA.

De attritiemethodologie is gebaseerd op de "firepower" methode. De firepower van een eenheid is een statische maat van zijn gevechtskracht door de vuurkracht van de eenheid in elk van vier categorieën op te tellen. De indeling in categorieën is als volgt:

- pantser (armour)
- anti-pantser (anti-armour)
- artillerie

- infanterie

Zoals al eerder vermeld heeft elk wapensysteem of eenheid een gevechtskrachtvector bestaande uit vier getallen behorend bij elk van de categorieën. Binnen elk van de categorieën is één standaard wapen met firepower gelijk aan één gedefinieerd. De scores van de overige systemen binnen een categorie zijn gebaseerd op meningen van experts over de waarde van de systemen in vergelijking tot het standaardsysteem. Vervolgens worden de waarden per categorie vermenigvuldigd met een gewichtsfactor die het belang aangeeft van een categorie wapens binnen een bepaald soort actie. Deze vermenigvuldigingsfactoren kunnen nog afhankelijk zijn van het soort actie dat wordt uitgevoerd, het terrein of het weer. De gevechtskracht van een eenheid wordt behalve door zijn firepower, ook bepaald door twee parameters: een cohesiefactor en een kwaliteitsfactor. De cohesiefactor is een maat voor leiderschap en moraal. De cohesiefactor neemt af door zware attritie, herhaalde luchtaanvallen etc. De kwaliteitsfactor is een maat voor de kwaliteit van het leiderschap, de graad van getraindheid en de mate van voorbereiding.

Door de firepower te sommeren over alle eenheden binnen een sector wordt de "total force firepower" verkregen. Deze waarde wordt vervolgens nog aangepast voor C<sup>2</sup>- en terreineffecten. Door het quotiënt van de firepower van de aanvallende partij en de verdedigende partij te nemen, krijgt men de firepower ratio binnen een sector.

Aan de hand van deze ratio wordt het resultaat van het gevecht bepaald door middel van een "combat results table". Deze tabel levert na invoer van deze ratio en een random getal tussen 1 en 10, de attritie uitgedrukt in verloren gevechtskracht en cohesie verliezen voor aanvaller en verdediger.

### 5.5.7 Scenario

De eenheden kunnen worden ingezet in de verschillende sectoren. Binnen deze sectoren kan geschoven worden met eenheden tussen het eerste echelon en het tweede echelon.

De gevechtseenheden kunnen de volgende missies uitvoeren: movement-to-contact, hasty attack, deliberate attack, holding attack, deep arty battle, delay, hasty defence, deliberate defence, stand and defend, en assembly.

### 5.5.8 Beschikbaar komende informatie

TAM levert gegevens over de positie van de FEBA en de attritie aan land- en luchtmacht.

### 5.5.9 In te stellen mogelijkheden

De gebruiker kan zelf een area definiëren en de eenheden positioneren binnen die area.

### 5.5.10 Bijzonderheden

TAM is geschreven in ADA en draait op een PC-AT. Het model heeft 3 tot 5 minuten nodig om 1 dag gevecht (1 simulatie slag) door te rekenen.

### 5.5.11 Samenvatting

TAM is een interactief gevechtsmodel van een strijd op theater niveau. Zowel grond- als luchtoorlog en de maritieme strijd worden meegenomen.

## 5.6 Triamos

### 5.6.1 Algemeen

De naam Triamos is een acronym van "Trend Indication and Analysis Model for Open Systems".

De invoer voor Triamos is flexibel. Er zijn een aantal voorgedefinieerde structuren en attributen. Deze kunnen in een aantal invoer files worden opgegeven. Ook de interactieparameters (attritiecoëfficiënten die afhankelijk zijn van het soort eenheid en de actie die de eenheid aan het uitvoeren is) kunnen worden opgegeven de invoer files.

Het model is ontwikkeld door IABG (Duitsland) [4].

### 5.6.2 Methode

Het model werkt op basis van Lanchestervergelijkingen. De attritiecoëfficiënten worden "interaction-parameters" genoemd en kunnen worden opgegeven in een invoer file. De tijdstap waarmee gerekend wordt, is variabel en kan gedurende de simulatie nog veranderd worden.

### 5.6.3 Niveau

Het niveau waarvoor Triamos wordt gebruikt is vanwege het feit dat de meeste parameters in een file worden opgegeven flexibel. Vanwege de weinig gedetailleerde structuur van de attritiemodellering lijkt het echter niet raadzaam om Triamos voor simulaties beneden het bataljons/compagnies niveau te gebruiken.

### 5.6.4 Terrein

In Triamos bestaat de gelegenheid om geografische elementen te definiëren. Deze elementen kunnen desgewenst grafisch worden gerepresenteerd. Hierbij is de kleur in file op te geven. Tevens kunnen bepaalde topografische elementen invloed uitoefenen op de interactie van de eenheden (hierbij moet gedacht worden aan mijnenvelden, air defense areas etc.). Het terrein oefent geen invloed uit op de attritiecoëfficiënten.

### 5.6.5 Eenheden

De eenheden worden binnen Triamos aangeduid als elementen. Ze zijn opgedeeld in een aantal elementtypen. De gebruiker kan deze opgeven in een file. Deze file beschrijft welke attributen voor dit element van belang zijn. De gebruiker heeft hierbij de keuze uit een aantal voorgedefinieerde attributen (zoals positie, niveau etc.). Tevens kan bij een element worden opgegeven uit hoeveel soorten wapensystemen dit element kan bestaan. Deze wapensystemen (binnen Triamos aangeduid als "resources") kunnen in een aparte "resource definition file" nader worden beschreven.

### 5.6.6 Attritie

Interactie tussen de elementen gebeurt in Triamos als twee of meer elementen met elkaar in contact komen. Dit contact komt tot stand als de positie van de eenheden (aangegeven door x,y coördinaat) binnen elkaars actieradius komen (Triamos :ar: radius of action). De attritie wordt vervolgens berekend op grond van de in file opgegeven interactie parameters (bijvoorbeeld: kad (Kadenz; tactische vuursnelheid) en pk (de kill-kans)).

### 5.6.7 Scenario

Elk element kan een aantal acties uitvoeren. Deze staan voor elk element beschreven in een lijst; hierbij is het ook mogelijk om conditionele acties toe te voegen. Het scenario van

een eenheid is gedefinieerd als een lijst van voorwaardelijke instructies. Op deze manier is een gedetailleerd scenario in te voeren.

#### 5.6.8 Beschikbaar komende informatie

Tijdens het draaien van een simulatie met Triamos zijn verschillende grafische overzichten te verkrijgen. Informatie is beschikbaar per element. Het tijdinterval waarop zo'n overzicht periodiek wordt verkregen kan door de gebruiker worden ingesteld. Er zijn overzichten beschikbaar over uitgeschakelde systemen en de veroorzakers van deze verliezen. Tevens kunnen overzichten van de gemaakte kosten worden verkregen. Dit laatste is in feite het optellen van de bedragen die in de invoer gespecificeerd worden.

#### 5.6.9 In te stellen mogelijkheden

Doordat samenstelling en scenario van eenheden apart in files op te geven is, is Triamos erg flexibel. Er kunnen complexe scenario's worden gesimuleerd met grote aantallen eenheden.

#### 5.6.10 Bijzonderheden

Bij Triamos horen tevens een aantal hulpprogramma's voor het aanmaken van elementen en scenario's.

#### 5.6.11 Samenvatting

Voordeel van Triamos is dat de structuur van elementen en acties wel voorgedefinieerd is, maar dat ze gespecificeerd dienen te worden in files. Dit maakt Triamos flexibel. Voor het verkrijgen van goede waarden voor de interactie parameters kan gebruik gemaakt worden van stochastische simulatie programma's.

Voor het vinden van waarden voor de invoerparameters voor bepaalde situaties zal een hoop studie moeten gebeuren. De interactie tussen eenheden werkt met behulp van een constante attriticoëfficiënt. De invloed van terrein op de interactieparameters is niet of moeilijk in te stellen. Dit maakt Triamos minder geschikt voor de lagere niveau modellen (team-niveau en lager).

## 6 Conclusie

Uit het verrichte literatuuronderzoek is gebleken dat het moeilijk en tijdrovend is om de artikelen over gevechtsmodellen en modelbeschrijvingen te verzamelen. Van de modelbeschrijvingen valt op dat deze vaak onvolledig zijn. Verder kan worden opgemerkt dat de meeste deterministische modellen een gevecht van hoog niveau (legerkorps en hoger) beschrijven. Er zijn maar weinig modellen die trachten het gevecht van laag niveau op analytische wijze te beschrijven.



## Bibliography

- [1] Onbekend  
*Kosimo, Korps-Simulations-Modell;*  
uitgave IABG, Berichts Nr. B-SO-2422/02.
- [2] Onbekend  
*SIMTAX, a taxonomy for warfare simulation;*  
Military Operations Research Society workshop report oct., dec. 1986, feb. 1987.  
In: Catalog of wargaming and military simulation models, 11th edition sept. 1989.
- [3] Onbekend  
*Theatre Analysis Model (TAM) Overview;*  
uitgave Booz, Allen & Hamilton Inc., aug. 1989.
- [4] Onbekend  
*A brief description of TRIAMOS;*  
uitgave IABG, jan. 1991.
- [5] Onbekend  
*Weapon effectiveness indices/Weighted Unit Values (WEI/WUV),*  
War Game Directory, US Army Concept Analysis Agency Maryland 20014, report  
CAA-SR-73-18
- [6] Ancker C.J. Jr.:  
*The one-on-one stochastic duel: parts I and II;*  
uitgave: University of Southern California, Los Angeles (California), rep. nr. ISE TR  
79-1; apr. 1979.
- [7] Ancker C.J. Jr.:  
*The one-on-one stochastic duel: part III;*  
uitgave: University of Southern California, Los Angeles (California), rep. nr. ISE TR  
80-1; nov. 1980.
- [8] Ancker C.J. Jr.:  
*The stochastic duel with time-dependent hit probabilities;*  
Naval Research Logistics quaterly, Vol 31, 363-371, 1984.
- [9] Anderson L.B.:  
*Heterogeneous points fire and area fire attrition processes that explicitly consider  
various types of munition and levels of coordination;*  
uitgave: Institute for defense analyses, Alexandria VA, Rep. nr. IDA Paper P-2249,  
oct. 1989.
- [10] Anderson L.B.:  
*A heterogeneous shoot-look-shoot attrition process;*

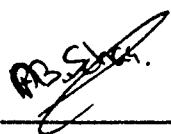
uitgave: Institute for Defence Analyses, Alexandria VA, rep.nr. IDA paper P-2250, oct. 1989.

- [11] Bathe M.R., McNaught K.R. & Belton S.R.:  
*Development of a combat model with a minibattle structure;*  
uitgave: Royal Military College of Science.
- [12] Bathe M.R. & Manwell J.G.:  
*Modelling combat as a series of minibattles;*  
uitgave: Royal Military College of Science, maart 1987.
- [13] Bathe M.R., Manwell J.G. & McNaught K.R.:  
*Modelling Combat as a Series of minibattles;*  
Final report to the US Army European Research Office RMCS Report Nr. SAG/05/88, nov. 1989.
- [14] Bekkers F.F & Kievit J.:  
Het Kibowi-concept versie 2;  
FEL rapport 1988-14, 1988.
- [15] Bonder S.:  
*The Lanchester attrition-rate coefficient,*  
Operations Research **15**, 1967.
- [16] Bonder S.:  
*The mean Lanchester attrition rate,*  
Operations Research **18**, 1970.
- [17] Bonder S. & Farrell R.:  
*Development of Analytical models of battalion task force activities;*  
SRL 1957 FR 70-1 (U) Systems Research lab, Departm. of Industrial and system Engineering, Univ. of Michigan, Ann Arbor, sep 1970.
- [18] Borawitz, W.C.:  
*Description of the Netherlands ARMY CORPS MODEL;*  
rapport IR 1982-33, 1982.
- [19] Culioli J.-C. & Protopopescu V.:  
*Parameter identification for generalized Lanchester's equations;*  
uitgave: Oak Ridge National Laboratory, maart 1990.
- [20] Engel J.H.:  
*A verification of Lanchester's law;*  
Operations Research **2**, 163-171, 1954.
- [21] Epstein J.M.:  
*The Calculus of Conventional War. Dynamic Analysis without Lanchester Theory;*  
Brookings Studies in Defence Policy, The Brookings Institution Washington DC.

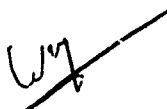
- [22] Forrester J.W.:  
Principles of systems;  
Wright Allen Press, Cambridge USA, 1968.
- [23] Gafarian A.V. & Ancker C.J. Jr.:  
*The two-on-one stochastic duel*;  
Naval research logistics, **31**, pp. 309-324, 1984.
- [24] Gafarian A.V. & Manion K.R.:  
*Some Two-on-Two Homogeneous Stochastic combats*;  
Naval Research Logistics, **36**, 721-764, 1989.
- [25] Hanson M.D.:  
*Calibration Coefficient Use and Value selection Guidance for the Moscow Land Combat Model* ;  
Thesis of the Naval Postgraduate School, Monterey (California), sept. 1989.
- [26] Hartley D.S. & Kruse K.L.:  
*Historical Support for a mixed law Lanchestrian Attrition Model: Helmbolds ratio*;  
uitgave: Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant, nov. 1989.
- [27] Huber R.K. (ed.):  
Systems analysis and modeling in defence. Development, trends, and issues;  
proceedings van Nato Defense Research Group symposium on Modeling and analysis  
of defence processes, Brussel, jul. 1982; Plenum press, New York and London, 1984.
- [28] Kishiyama M.M.:  
*Modeling combat fatigue in the joint theater level simulation model*;  
uitgave: U.S. Army War College, Carlisle Barracks, Pennsylvania 17013, mei 1989.
- [29] Lanchester F.W.:  
*Aircraft in Warfare: The dawn of the fourth arm-V, The principle of concentration*;  
Engineering **98**, 422-23 (1914).  
reprinted in: Newman J. (ed.),  
The world of mathematics Vol IV,  
pp. 2138-2157, Simon and Schuster, New York (1956).
- [30] Lepingwell J.W.R.:  
*Lanchester revived? A critique of Lanchester modeling in US Army guard and reserve*;  
*rhetoric, realities, risks*;  
Defence analysis **6**, 399-404, 1990.
- [31] Morse P.M. & Kimball G.E.:  
Methods of operations research;  
Peninsula publishing, 1970.

- [32] Murphy K. L.:  
*Comparative Analysis of Attrition Generation Utilized in Aggregate Combat Models*;  
Thesis of the Naval Postgraduate School, Monterey (California); sept. 1987.
- [33] Protopopescu V.: Combat modeling with partial differential equations; paper presented at the ACMP annual meeting, oct. 1987.
- [34] Protopopescu V., Santoro R.T., Dockery J., Cox R.L. & Barnes J.M.:  
*Combat modelling with partial differential equations*;  
uitgave: Oak Ridge National laboratory; rep. nr. ORNL/TM-10636, nov. 1987.
- [35] Przemieniecki J.S.:  
*Mathematical Modelling of Combat Engagements by Heterogeneous Forces*;  
uitgave: Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force base (Ohio), sept. 1988.
- [36] Przemieniecki J.S.:  
Introduction to mathematical methods in defense analyses;  
AIAA Education series, 1990.
- [37] Richmond R., Vescuso P. & Peterson S.:  
A business User's Guide to Stella;  
High Performance Systems Inc., 1987.
- [38] Schagen P.A.B. van, Joppe W. & Mahieu M.J. le:  
Interim rapport 1 Force Structure Model: ontwerp gevechtssimulatiemodel;  
rapport: FEL 87-57, 1987.
- [39] Schagen P.A.B. van, Joppe W. & Mahieu M.J. le:  
Eindrapportage project Force Structure Modelling;  
rapport: FEL 89-A345, 1989.
- [40] Schenk A., Hoffmans D.W. & Vaal G.E.M.:  
*DataBase Weapon Indicators, Intermediate report*;  
PML 1986-3 (rubricering : SECRET), 1986.
- [41] Schenk A., Hoffmans D.W., Pasman H.J. & Coopmans L.A.C.M.:  
*The use of a special win factor in army corps simulations as applied to attrition issues*;  
pp. 587-603 in [27], 1984.
- [42] Schenk A. & Pasman H.J.:  
Tactische sterktevergelijking op basis van wapenindicatoren met behulp van het model BALLS;  
TNO-rapport PML 1991-18, maart 1991,  
(rubricering: confidencieel).
- [43] Stahel A.A.:  
*Simulation von Kriegen*;  
Osterr. Milit. Zeitschrift 2, 1990.

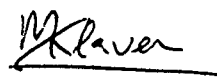
- [44] Taylor J.G.:  
Lanchester models of Warfare Vol 1 and 2;  
Military applications section, Operations Research Society of America Virginia, 1983.
- [45] Velden A.M. van der:  
*Een wargame ten behoeve van de HKS-oefening Soltau*;  
rapport: PHL 1983-42, 1983.
- [46] Vries K.R. de:  
*De Lanchestervergelijkingen*;  
afstudeerverslag: Koninklijk Instituut voor de Marine; juni 1977.
- [47] Vuksich J.V.:  
*Low Intensity Conflict Combat Attrition Methodology*;  
uitgave: USA Combined Arms Operations Research Activity, Fort Leavenworth (Kansas), rep. nr. TP 1-85, feb. 1985.
- [48] Wand K. & Wilson R.J.T.:  
*Matador: an analytical model of a stochastic tank duel*;  
J. Ops. Res. Soc. **38**, 545-551, 1987.
- [49] West T.A.:  
*A comparative analysis of a generalized Lanchester equation model and a Stochastic Computer Simulation Model*;  
thesis van Naval postgraduate school, Monterey (California), maart 1987.
- [50] Willard D.:  
*Lanchester Attrition of Interpenetrating Forces*;  
Naval Research Logistics, Vol **37**, 31-59, 1990.
- [51] Wozencraft J.M. & Moose P.H.:  
*Characteristic trajectories of generalized Lanchester equations*;  
uitgave: Naval Postgraduate school, Monterey (California), juni 1987.
- [52] Yarwood M.A.:  
*Long term strategic capabilities model Balincer V4.0: Programme specification*;  
uitgave Siemens Plessey Defence systems, Doc. no 347/SA/00805/001, jan. 1991.  
rubricering: confidential.
- [53] Yarwood M.A.:  
*Long term strategic capabilities model Balincer V4.0: Parameter key list*;  
uitgave: Siemens Plessey Defence systems, Doc. no 347/TD/00805/001, jan. 1991.  
rubricering: restricted.



Drs. P.A.B. v. Schagen  
(projectleider)



Drs. W. Joppe  
(auteur)



Dr. M.H.A. Klaver  
(auteur)

UNCLASSIFIED

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD91-4356	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER FEL-91-B429
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 22431	5. CONTRACT NUMBER -	6. REPORT DATE DECEMBER 1991
7. NUMBER OF PAGES 46 (EXCL. RDP + DISTRIBUTION LIST)	8. NUMBER OF REFERENCES 53	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED INTERIM REPORT
10. TITLE AND SUBTITLE DETERMINISTISCHE GEVECHTSMODELLEN, INTERIM RAPPORT 1: LITERATUUR ONDERZOEK (DETERMINISTIC COMBATMODELS, INTERIM REPORT 1: LITERATURE RESEARCH)		
11. AUTHOR(S) W. JOPPE M.H.A. KLAVER		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY, P.O. BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE OUDE WAALSDORPERWEG 63, THE HAGUE, THE NETHERLANDS		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S)		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS)  THIS REPORT CONTAINS A DESCRIPTION OF A STUDY OF THE EXISTING LITERATURE ON DETERMINISTIC COMBATMODELS. THE LANCHESTEREQUATIONS ARE DESCRIBED, BOTH IN THEIR CLASSICAL AS IN A MORE GENERAL FORM. FINALLY SOME DETERMINISTIC COMBAT MODELS ARE DESCRIBED.		
16. DESCRIPTORS LANCHESTER LITERATURE SEARCHING WARGAMES		IDENTIFIERS COMBAT MODELS DETERMINISTIC MODELS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) UNCLASSIFIED	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) UNCLASSIFIED	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) UNCLASSIFIED
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT  UNLIMITED		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) UNCLASSIFIED

UNCLASSIFIED